

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

03 MAR 2005

(43) 国際公開日  
2004 年 3 月 18 日 (18.03.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/023563 A1(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01L 29/82, 29/78

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/011300

(22) 国際出願日: 2003 年 9 月 4 日 (04.09.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2002-260536 2002 年 9 月 5 日 (05.09.2002) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 科学技術  
振興事業団 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY  
CORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県 川口市  
本町四丁目1番8号 Saitama (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中 秀和  
(TANAKA, Hidekazu) [JP/JP]; 〒565-0821 大阪府 吹  
田市 山田東 4-3 2-5-1 0 8 Osaka (JP). 川合 知  
二 (KAWAI, Tomoji) [JP/JP]; 〒562-0031 大阪府 箕面市 小野原東 5-2 6-1 5-6 1 5 Osaka (JP). 神吉 輝  
夫 (KANKI, Teruo) [JP/JP]; 〒560-0033 大阪府 豊中  
市 蛸池中町 1-4-1 0-1 0 1 Osaka (JP). 朴 影根  
(PARK, Young-Geun) [KR/JP]; 〒562-0031 大阪府 箕  
面市 小野原東 3-9-9-1 0 5 Osaka (JP).(74) 代理人: 原 謙三 (HARA, Kenzo); 〒530-0041 大阪府 大  
阪市 北区天神橋 2 丁目北 2 番 6 号 大和南森町ビル  
原謙三国際特許事務所 Osaka (JP).

(81) 指定国 (国内): JP, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

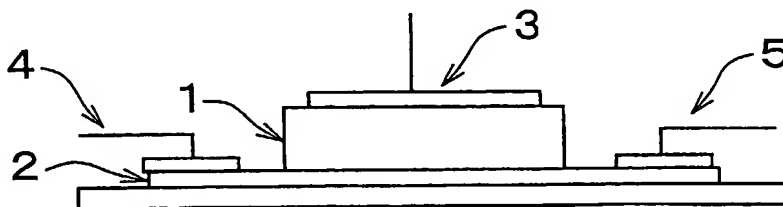
添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: FIELD-EFFECT TRANSISTOR

(54) 発明の名称: 電界効果トランジスタ



(57) Abstract: A field-effect transistor has a film thickness of 50 nm or less and comprises a ferromagnetic layer adhering to a dielectric layer. The ferromagnetic layer is composed of a Ba Mn oxide which shows ferromagnetism at 0 °C or higher, and the dielectric layer is composed of a dielectric material or a ferroelectric material. With this constitution, magnetism, electricity-transferring characteristics and/or magnetoresistive effect can be controlled at 0 °C or higher.

(57) 要約: 電界効果トランジスタは、50 nm 以下の膜厚を有し、0 °C 以上で強磁性を示す Ba 系 Mn 酸化物からなる強磁性層と、誘電体または強誘電体からなる誘電体層とが接合されてなっている。これにより、0 °C 以上で、磁性、電気輸送特性および/または磁気抵抗効果を制御することができる。

## 明 細 書

## 電界効果トランジスタ

## 技術分野

本発明は、電界効果トランジスタ、特に、電界で書込みが可能である  
5 磁気記録素子、新機能半導体－磁気集積回路、電界制御磁気アクチュエ  
ータ等に利用可能な電界効果トランジスタに関するものである。

## 背景技術

電子の流れを制御する半導体デバイスに加え、磁性の源であるスピン  
10 を半導体的手法により、制御するスピントロニクスが近年発展しつつあ  
る。そして、これらスピントロニクスの発展は、電圧を印加することで  
磁気半導体中のキャリア濃度の変化を利用させる強磁性のスイッチング  
を可能とし、電界で情報の書込みが可能な新規な磁気記録素子や、新機  
能半導体－磁気集積回路等を実現させることができると期待される。

15 強磁性を電界で制御する電界効果素子としては、例えば、（１）希薄  
磁性半導体を用いたもの報告されている（非特許文献１参照）。該報告  
では、希薄磁性体として（I n, M n）A sを使用している。

また、他の電界効果素子としては、（２）M n 酸化物／強誘電体酸化  
物を用いたものも報告されている（例えば、非特許文献２～４参照）。

20 [非特許文献１]

H. Ohno et al., Nature 408, 944-946 (2000)

[非特許文献２]

S.Mathews et al., Science 276(1997)238

〔非特許文献 3〕

T.Wu et al., Phys.Rev.Lett. 86(2001)5998

〔非特許文献 4〕

5 S.B Ogale et al., Phys.Rev.Lett. 77(1996)1159

ところが、上記従来構成の電界効果素子では、磁性転移温度が低く、かつ、高電界を印加する必要がある、または、磁性転移温度変化がないという問題を生じている。

10 具体的には、上記 (1) の希薄磁性半導体を用いた電界効果素子は、磁性転移温度が極低温 ( $22.5 \text{ K} = -250^\circ\text{C}$ ) である。また、その際、磁性転移温度変化を得るためには、高電界を必要としており。具体的には、磁性転移温度変化 ( $\Delta T_c$ ) は、 $125 \text{ V}$  の高電界を印加したとき、 $1 \text{ K}$  ( $\Delta T_c = 1 \text{ K}$ ) である。さらには、上記構成の電界効果素子は、メモリ効果を有していない。

15 また、上記 (2) の  $\text{Mn}$  酸化物／強誘電体酸化物を用いた場合では、上記構成の電界効果素子の多くは、磁性転移温度変化を示していない。また、磁性転移温度変化を示す化合物の場合でも、その磁性転移温度は低く、また、磁性転移温度変化の幅は小さい。具体的には、Venkatesan (米国) のグループ (非特許文献 2～4 参照) は、強磁性層として、(20  $(\text{La}, \text{A})\text{MnO}_3$  ( $\text{A} = \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Nd}$ ) を用いている。上記構成の強磁性層は、デバイスを作製する際に必要な薄膜化することにより、急激に磁性転移温度が減少することが知られている。従って、上記構成の電界効果素子は、例えば、室温付近で転移温度を制御することができない。一例としては、 $(\text{La}, \text{Ca})\text{MnO}_3$  ( $50 \text{ nm}$ ) /  $\text{SrTi}$

O<sub>3</sub>の電界効果型素子を用いた例について磁性転移温度変化が報告されているが、磁性転移温度変化は、5 Vの電圧印加時で $\Delta T_c = 150 K + 3 K$ である。

従って、0℃以上で動作可能であり、かつ、従来と比べて低い電圧で動作が可能である電界効果トランジスタが望まれている。

#### 発明の開示

本願発明者等は、上記の問題を鋭意検討した結果、十分な電界効果を得るために、最適な膜厚、Ba原子の含有量、原子レベルでの平坦な界面を有するBa系Mn酸化物と、最適な残留分極値と絶縁性とを有する誘電体または強誘電体とを組み合わせることにより、本発明を完成するに至った。

すなわち、本発明にかかる電界効果トランジスタは、上記の課題を解決するために、50 nm以下の膜厚を有し、0℃以上で強磁性を示すBa系Mn酸化物からなる強磁性層と、誘電体または強誘電体からなる誘電体層とが接合されてなることを特徴としている。

上記の構成によれば、本発明にかかる電界効果トランジスタは、強磁性層として、0℃以上で強磁性を示すBa系Mn酸化物、例えば、特定の組成を有するBa系Mn酸化物を用いている。そして、上記強磁性層と、誘電体または強誘電体層とを接合することで0℃以上の磁性転移温度を有する電界効果トランジスタを得ることができる。これにより、本発明のトランジスタを、従来と比べて、非常に高い温度、すなわち、0℃以上で動作させることができる。具体的には、0℃以上で、磁性、電気輸送特性および／または磁気抵抗効果を制御することができる。

また、Ba系Mn酸化物は、例えば、希薄磁性半導体と比べて、電子間の相互作用が非常に強い「強相関電子系」である。従って、わずかなキャリア濃度の変化で物性が変化するため、例えば、希薄磁性半導体と比べて、低電圧での制御を行うことができる。

5        以上のように、本発明の電界効果トランジスタは、従来よりも、より低電圧、かつ、高温（0℃以上）で動作させることができる。

本発明の電界効果トランジスタは、ボトムゲート構造を有することがより好ましい。

10        上記ボトムゲート構造とは、チャネル層（強磁性層）である（La, Ba）MnO<sub>3</sub>層が、基板と接しておらず、かつ、一方の面が剥き出しになっている構造である。より具体的には、（La, Ba）MnO<sub>3</sub>層が、露出している構造である。

15        上記の構成によれば、ボトムゲート構造を有しているので、（La, Ba）MnO<sub>3</sub>層が基板と接していない。これにより、基板と（La, Ba）MnO<sub>3</sub>層との相互作用を無くすことができる。従って、0℃以上で強磁性を示すとともに、より一層広い磁性転移温度変化を得ることができる。

20        本発明のさらに他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十分わかるであろう。また、本発明の利益は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施の形態にかかる電界効果トランジスタの概略の構成を示す断面図である。

図 2 は、本発明の他の実施の形態にかかる電界効果トランジスタの概略の構成を示す斜視図である。

図 3 は、トップゲート型の電界効果トランジスタにゲートバイアス掃引を行ったときの、ソースドレイン抵抗の変化を示すグラフである。

5 図 4 は、トップゲート型の電界効果トランジスタの温度変化による、ソースドレイン抵抗の変化を示すグラフである。

図 5 は、ボトムゲート型の電界効果トランジスタの温度変化による、ソースドレイン抵抗の変化を示すグラフである。

## 10 発明を実施するための最良の形態

### 〔実施の形態 1〕

本発明の実施の一形態について図 1 に基づいて説明すれば、以下の通りである。

15 本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、図 1 に示すように、強磁性層 2、誘電体層 1、ソース電極 4、ゲート電極 3 およびドレイン電極 5 から構成されている。そして、上記強磁性層 2 は、基板上に形成されている。

20 具体的には、基板の上に強磁性層 2 が形成されており、基板の強磁性層 2 が形成されている面に誘電体層 1 が積層されている。すなわち、基板、強磁性層 2、誘電体層 1 が、この順に積層されており、強磁性層 2 と誘電体層 1 とは接合（ヘテロ接合）されている。そして、誘電体層 1 には、ゲート電極 3 が設けられており、強磁性層 2 には、ソース電極 4 とドレイン電極 5 とが誘電体層 1 を挟んで設けられている。このとき、誘電体層 1 と強磁性層 2 とが接合している面積が、電界効果トランジス

タとしての動作範囲となる。

基板は、表面に強磁性層 2 を、均一、かつ、平坦に形成することができるものであればよく、特に限定されるものではない。基板を構成する材料としては、具体的には、例えば、 $(\text{Sr}_{1-q}\text{Ba}_q)\text{TiO}_3$ （ただし、 $0 \leq q \leq 1.0$ ）、または、 $\text{MgO}$  等の単結晶を好適に用いることができる。上記例示の基板のうち、 $q = 0$  である  $\text{SrTiO}_3$  は、安価であり電気特性を制御しやすいため、一般に標準基板としてよく用いられているため、より好ましい。特に、単結晶  $\text{SrTiO}_3$  基板の  $(001)$  面上に  $100\text{nm}$  ( $1000\text{\AA}$ ) 以下の膜厚で強磁性層 2 を形成すると、そのキュリー温度は、バルク状態でのキュリー温度より上昇する傾向にあるのでより好ましい。また、上記例示の単結晶を用いることにより、上記基板上に強磁性層 2 を、例えば、レーザアブレーション法にて作成する際、強磁性層 2 の薄膜を容易に作成することができる。

強磁性層 2 は、強磁性体である Ba 系 Mn 酸化物で構成されている。上記 Ba 系 Mn 酸化物とは、ペロブスカイト構造を有する  $(\text{La}, \text{Ba})\text{MnO}_3$  を示す。

本実施の形態にかかる Ba 系 Mn 酸化物は、 $50\text{nm}$  以下の膜厚を有し、 $0^\circ\text{C}$  以上で強磁性を示している。

上記性質を示す Ba 系 Mn 酸化物としては、例えば、 $(\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x)\text{MnO}_3$ （ただし、 $x$  は、 $0.05 < x < 0.3$  の関係を満たす）の組成が挙げられる。上記  $x$  の下限値としては、 $0.05$  より大きいことが好ましく、 $0.1$  より大きいことがより好ましく、 $0.15$  以上であることが特に好ましい。上記  $x$  が  $0.05$  以下であると、キャリア濃度が不足し、良好な電気伝導が得られず強磁性体にならない。また、

上記  $x$  を 0.1 以上より好ましくは 0.15 以上とすることにより、0℃以上で強磁性を示すとともに、より一層広い磁性転移温度変化を得ることができる。

一方、上記  $x$  の上限値としては、0.3 より小さいことが好ましく、0.2 以下であることがより好ましい。上記  $x$  が 0.3 以上であると、膜厚を 50 nm 以下にした場合、0℃以上で強磁性を示さないの、電界効果トランジスタとした場合、0℃以上で動作させることができないため好ましくない。なお、上記の Ba 系 Mn 酸化物の組成において、Mn 欠損、酸素欠損があってもよいが、Mn 欠損および／または酸素欠損は、強磁性を発現する温度を下げる要因であり、0℃以上で強磁性を示す強磁性体としてこれらの欠損はない方が望ましい。

上記組成の Ba 系 Mn 酸化物からなる強磁性層 2 は、厚さが薄くなるほど、強磁性転移温度が高くなる特徴を有している。従って、本実施の形態にかかる電界効果トランジスタにおける強磁性層 2 はより薄いことが好ましい。具体的には、Ba 系 Mn 酸化物からなる強磁性層 2 の厚さとしては、50 nm 以下が好ましく、10 nm 以下がより好ましく、5 nm 以下が特に好ましい。上記組成の Ba 系 Mn 酸化物から構成される強磁性層 2 の厚さを 50 nm 以下とすることにより、0℃以上で強磁性を発現させることができる。一方、上記強磁性層 2 の厚さの下限值としては、0.8 nm よりも厚いことがより好ましい。上記厚さが 0.8 nm 以下となると、理論的に強磁性が消失することとなる。

また、強磁性を示す温度としては、より高いことが好ましい。すなわち、強磁性を示す温度としては、0℃以上が好ましく、25℃以上がより好ましく、40℃以上がさらに好ましい。強磁性を示す温度が高いこ



とは、トランジスタの磁性転移温度を高くすることができる。すなわち、強磁性を示す温度が、例えば、室温（25℃）である場合、この強磁性層2を用いて電界効果トランジスタを構成すると、室温で動作させることができる。従って、本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、  
5 強磁性層2として、0℃以上で強磁性を示すBa系Mn酸化物を用いているので、0℃以上で動作させることができる。

誘電体層1は、強誘電体または誘電体から構成されている。上記誘電体層1を構成している強誘電体または誘電体としては、特に限定されるものではなく、種々のものを使用できる。

10 上記誘電体としては、具体的には、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 等が挙げられる。上記例示の誘電体のうち、誘電率の大きさ、入手のし易さの点で $\text{SrTiO}_3$ がより好ましい。

また、上記強誘電体としては、具体的には、 $(\text{Ba}_{1-y}\text{Sr}_y)\text{TiO}_3$ （ただし、 $y$ は、 $0 < y < 1$ の関係を満たす）、 $\text{PbTiO}_3$ 、  
15  $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-z}\text{Ti}_z)\text{TiO}_3$ （ただし、 $z$ は、 $0 < z < 1$ の関係を満たす）、 $\text{BaTiO}_3$ 等が挙げられる。上記例示の強誘電体のうち、誘電分極の大きさの点で $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{TiO}_3$ がより好ましい。

本実施の形態にかかる電界効果トランジスタにおいて、強磁性層2の厚さが50nm以下である場合、誘電体層1の厚さの上限値としては、  
20 400nm以下がより好ましく、100nm以下がさらに好ましい。

本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、以上のように、50nm以下の膜厚を有し、0℃以上で強磁性を示すBa系Mn酸化物からなる強磁性層2と、誘電体または強誘電体からなる誘電体層1とが接合されてなる構成である。これにより、本発明のトランジスタを、従来と

比べて、非常に高い温度、すなわち、 $0^{\circ}\text{C}$ 以上で動作させることができる。具体的には、 $0^{\circ}\text{C}$ 以上で、磁性、電気輸送特性および／または磁気抵抗効果を制御することができる。

また、Ba系Mn酸化物は、例えば、希薄磁性半導体と比べて、電子間の相互作用が非常に強い「強相関電子系」である。従って、わずかなキャリア濃度の変化で物性が変化するため、例えば、希薄磁性半導体と比べて、低電圧での制御を行うことができる。

従って、本発明の電界効果トランジスタは、従来よりも、より低電圧、かつ、高温（ $0^{\circ}\text{C}$ 以上）で動作させることができる。

また、本実施の形態において、強磁性層2として、 $(\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x)\text{MnO}_3$ （ただし、 $x$ は、 $0.05 < x < 0.3$ の関係を満たす）のBa系 $\text{MnO}_3$ を用いて、誘電体層1として、誘電体（例えば、 $\text{SrTiO}_3$ ）を用いる場合には、スイッチング素子として機能する電界効果トランジスタとすることができる。

一方、本実施の形態において、強磁性層2として、 $(\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x)\text{MnO}_3$ （ただし、 $x$ は、 $0.05 < x < 0.3$ の関係を満たす）のBa系 $\text{MnO}_3$ を用いて、誘電体層1として、強誘電体（例えば、 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{TiO}_3$ ）を用いる場合には、電圧を印加していない状態でも変調が保持されるために、メモリ効果を有する。また、上記構成の電界効果トランジスタに電界を印加した場合、誘電体層1と強磁性層2との接合界面付近に、電界無印加時と比べて、キャリア（ホール）濃度の高い層もしくは低い層が形成される。このキャリア濃度の高い部分をアキュムレート（accumulate）層と呼ぶ。上記構成の電界効果トランジスタは、上記アキュムレート層を利用しており、常磁性（磁化がな

い状態) から強磁性 (磁化の大きい状態) へとスイッチできるので、例えば、 $p-n$  型のダイオードと比べて、直接磁性検出に有利となる。

本発明の電界効果トランジスタの製造方法において、強磁性層 2 を製造するには、具体的には、例えば、レーザアブレーション法により製膜  
5 することができる。また、上記以外にも、例えば、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法、レーザ MBE 法、スパッタ法、CVD 法等で製膜することができる。また、誘電体層 1 または強誘電体層 1 を製造する場合にも、上記例示の方法により製膜することができる。例えば、レーザアブレーション法を用いる場合の成膜条件としては、基板温度範囲 65  
10  $0 \sim 7350^{\circ}\text{C}$ 、 $1.10 \times 10^{-1} \sim 5.0 \times 10^{-1} \text{ Pa}$  の範囲内の  $\text{O}_2$  ガス圧雰囲気为好ましい。また、上記強磁性層 2 の場合、 $50 \text{ nm}$  以下の膜厚を形成するためには、例えば、 $10 \text{ nm}$  ( $100 \text{ \AA}$ ) /  $20 \text{ min}$  程度の製膜速度で製膜することがより好ましい。

特に、上記 (La, Ba)  $\text{MnO}_3$  からなる強磁性層 2 の薄膜を基板  
15 に作製する際には、高酸素圧で薄膜化を行うほど強磁性を示しやすく、低酸素圧で薄膜化を行うほど強磁性を示しにくくなる。これは、強磁性層 2 が酸素量を増やすことによって、キャリア (正孔) 濃度が高くなり、キャリア濃度が高くなるにつれてキュリー温度も上昇するからである。

## 20 [実施の形態 2]

本発明の他の実施の形態について図 2 を参照して説明すれば、以下の通りである。なお、説明の便宜上、前記実施の形態 1 にて示した各部材と同一の機能を有する部材には、同一の符号を付記し、その説明を省略する。

本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、ボトムゲート構造を有する（ボトムゲート型の）ものである。上記ボトムゲート型の電界効果トランジスタとは、チャンネル層である（ $\text{La, Ba}$ ） $\text{MnO}_3$ が基板と接しておらず、一方の面が剥き出しになっている。つまり、本実施の

5 形態にかかる電界効果トランジスタにおいて、チャンネル層である（ $\text{La, Ba}$ ） $\text{MnO}_3$ は、光を受光することができるようになっている。従って、本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、電界で磁性を制御する結果、入射した光の偏光面を電界で制御する光変調器とすることができる。そして、上記電界効果トランジスタは、チャンネル層である（

10  $\text{La, Ba}$ ） $\text{MnO}_3$ の一方の面が剥き出しになっているために、光の出し入れを有利に行うことができる。

また、本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、図2に示すように、基板とゲート層である  $\text{Pb}(\text{Zr, Ti})\text{TiO}_3$  との間に（ $\text{La, Ba}$ ） $\text{MnO}_3$  または  $\text{SrRuO}_3$  からなる酸化物ゲート電極が形成

15 されている。つまり、ボトムゲート型の電界効果トランジスタは、基板の上に、酸化物ゲート電極、ゲート層（誘電体層）およびチャンネル層（強磁性層）が、この順に積層されている（基板と酸化物ゲート電極とが接している）。そして、電界効果トランジスタには、チャンネル層である（ $\text{La, Ba}$ ） $\text{MnO}_3$ の表面に、ドレイン電極とソース電極とが設け

20 られ、酸化物ゲート電極上には、ゲート電極が設けられている。

本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、ボトムゲート型である。つまり、上記実施の形態1のトップゲート型、すなわち、（ $\text{La, Ba}$ ） $\text{MnO}_3$ が基板とゲート層（ $\text{Pb}(\text{Zr, Ti})\text{TiO}_3$ ）との両方と接している構成と比べて、（ $\text{La, Ba}$ ） $\text{MnO}_3$ が基板とは接

しておらず、ゲート層のみと接している。一般に、基板界面では、dead層と呼ばれる制御が困難な層が存在している。本実施の形態にかかる電界効果トランジスタは、上記基板と接していないので、より大きな磁性転移温度変化が期待できる。

5       なお、上記ボトムゲート型の電界効果トランジスタは、実施の形態1のトップゲート型（ゲート電極が上部にある）の電界効果トランジスタの製造方法と同様であり、詳細な説明は省略する。

10       また、酸化物ゲート電極が、 $(La, Ba)MnO_3$ から構成されている場合には、LaとBaとの組成比としては、上記チャネル層の組成比と同じであることがより好ましい。

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

15       以上のように、本発明にかかる電界効果トランジスタは、50nm以下の膜厚を有し、0℃以上で強磁性を示すBa系Mn酸化物からなる強磁性層と、誘電体または強誘電体からなる誘電体層とが接合されてなることを特徴としている。

20       上記の構成によれば、本発明にかかる電界効果トランジスタは、強磁性層として、0℃以上で強磁性を示すBa系Mn酸化物、例えば、特定の組成を有するBa系Mn酸化物を用いている。そして、上記強磁性層と、誘電体または強誘電体層とを接合することで0℃以上の磁性転移温度を有する電界効果トランジスタを得ることができる。これにより、本発明のトランジスタを、従来と比べて、非常に高い温度、すなわち、0

℃以上で動作させることができる。具体的には、0℃以上で、磁性、電気輸送特性および／または磁気抵抗効果を制御することができる。

また、Ba系Mn酸化物は、例えば、希薄磁性半導体と比べて、電子間の相互作用が非常に強い「強相関電子系」である。従って、わずかなキャリア濃度の変化で物性が変化するため、例えば、希薄磁性半導体と比べて、低電圧での制御を行うことができる。

以上のように、本発明の電界効果トランジスタは、従来よりも、より低電圧、かつ、高温（0℃以上）で動作させることができる。

本発明の電界効果トランジスタは、上記強磁性層が  $(La_{1-x}Ba_x)MnO_3$ （ただし、 $x$ は、 $0.05 < x < 0.3$ の関係を満たす）で示す構造からなるBa系Mn酸化物であることがより好ましい。

上記の構成によれば、 $(La_{1-x}Ba_x)MnO_3$ のうち、 $x$ を $0.05 < x < 0.3$ の範囲内とすることにより、0℃以上で強磁性を示すことができる。従って、上記特定の組成を有するBa系Mn酸化物を用いることで、0℃以上で動作させることができる電界効果トランジスタを提供することができる。

本発明の電界効果トランジスタは、上記強磁性層が  $(La_{1-x}Ba_x)MnO_3$ （ただし、 $x$ は、 $0.10 < x < 0.3$ の関係を満たす）で示すBa系Mn酸化物であることがより好ましい。

すなわち、 $(La_{1-x}Ba_x)MnO_3$ のうち、 $x$ を $0.10 < x < 0.3$ 範囲内とすることにより、0℃以上で強磁性を示すとともに、より一層広い磁性転移温度変化を得ることができる。

本発明の電界効果トランジスタは、上記誘電体または強誘電体が、 $BaTiO_3$ 、 $SrTiO_3$ 、 $(Ba_{1-y}Sr_y)TiO_3$ （ただし、 $y$

は、 $0 < y < 1$  の関係を満たす)、 $PbTiO_3$ 、 $Pb(Zr_{1-z}Ti_z)TiO_3$  (ただし、 $z$  は、 $0 < z < 1$  の関係を満たす)、または、 $Al_2O_3$  である構成がより好ましい。

また、本発明の電界効果トランジスタは、上記誘電体または強誘電体  
5 は、 $BaTiO_3$ 、 $SrTiO_3$ 、 $(Ba_{1-y}Sr_y)TiO_3$  (ただし、 $y$  は、 $0 < y < 1$  の関係を満たす)、 $PbTiO_3$ 、または、 $Al_2O_3$  であることがより好ましい。

誘電体または強誘電体を上記例示の化合物のいずれかとすることにより、より磁性転移温度変化の効率のよい電界効果トランジスタを提供す  
10 ることができる。

本発明の電界効果トランジスタは、ボトムゲート構造を有することがより好ましい。

上記ボトムゲート構造とは、チャネル層 (強磁性層) である ( $La, Ba$ )  $MnO_3$  層が、基板と接しておらず、かつ、一方の面が剥き出し  
15 になっている構造である。より具体的には、( $La, Ba$ )  $MnO_3$  層が、露出している構造である。

上記の構成によれば、ボトムゲート構造を有しているので、( $La, Ba$ )  $MnO_3$  層が基板と接していない。これにより、基板と ( $La, Ba$ )  $MnO_3$  層との相互作用を無くすることができる。従って、 $0^\circ C$  以上で強磁性を示すとともに、より一層広い磁性転移温度変化を得ること  
20 ができる。

#### [実施例]

##### [実施例 1]

本発明にかかる電界効果トランジスタをレーザアブレーション法によ

って製造する例を以下に示す。

まず、 $(\text{La}_{0.87}\text{Ba}_{0.13})\text{MnO}_3$  を作製するに当たり、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_3$ 、 $\text{BaO}$  パウダーを適量な混合比にとり、混ぜあわせ、 $900^\circ\text{C}$ 、40時間の仮焼結を行った後、 $1300^\circ\text{C}$ 、24時間の本焼結を行なった。

そして、レーザアブレーション法を用いて、 $\text{ArF}$  エキシマレーザ ( $\lambda = 193\text{nm}$ ) を  $(\text{La}_{0.87}\text{Ba}_{0.13})\text{MnO}_3$  に照射し、基板の温度を  $700^\circ\text{C}$ 、酸素ガス圧  $1.0 \times 10^{-1}\text{Pa}$  の条件で、 $\text{SrTiO}_3$  の  $(001)$  面の単結晶基板上に  $(\text{La}_{0.87}\text{Ba}_{0.13})\text{MnO}_3$  の薄膜 (厚さ  $3.6\text{nm}$ ) を作製した。これにより、強磁性層を形成した。

そして、上記強磁性層の上に、レーザアブレーション法により、 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$  からなる薄膜 (厚さ  $30\text{nm}$ ) を作製した。これにより誘電体層を形成した。つまり、基板、強磁性層、誘電体層が順に積層されている。また、誘電体層は基板に接していない。

次に、誘電体層の上に、ゲート電極を設け、ソース電極およびドレイン電極を強磁性層の上に形成した。具体的には、ソース電極およびドレイン電極を、強磁性層の上に形成された誘電体層を挟むように形成した。このとき、ソース電極およびドレイン電極と誘電体層とを接触させてもよく、また、接触させなくともよい。

以上のようにして本実施例にかかる電界効果トランジスタを製造した。上記製造方法により得られた電界効果トランジスタのデバイス動作範囲は、 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$  であった。

次に得られた電界効果トランジスタを用いて、 $290\text{K}$  にて、ゲートバイアス掃引を行うことにより、ソースドレイン抵抗が誘電体層によ



って分極し、強磁性層のキャリア濃度が有効に変化しているか否かを確認した、その結果を図3に示す。図3に示すように、強磁性層のキャリア濃度が有効に変化できていることが確認された。

次に、ゲートバイアスとして、5 Vの電界を印加した状態で電界効果トランジスタを温度変化させたときの、ソースドレイン抵抗を測定した。その結果を図4に示す。図4から分かるように、強磁性転移温度（金属－絶縁体転移温度）が280 Kに達することがわかる。

また、図4から分かるように、ゲートバイアスとして5 Vの電界を印加した状態で280 K（バルク270 K）において、1.5 Kの磁性転移温度変化を確認した。これは、強磁性－常磁性スイッチが行われていることを意味する。従って、本発明の電界効果トランジスタは、従来よりも、より低電圧、かつ、高温（0℃以上）で動作させることができる。

#### 〔実施例2〕

( $\text{La}_{0.87}\text{Ba}_{0.13}\text{MnO}_3$ )の組成を( $\text{La}_{0.85}\text{Ba}_{0.15}\text{MnO}_3$ )に変えた以外は、実施例1と同様にして、電界効果トランジスタを作製した。

次に得られた電界効果トランジスタを用いて、290 Kにて、ゲートバイアス掃引を行うことにより、ソースドレイン抵抗が誘電体層によって分極し、強磁性層のキャリア濃度が有効に変化しているか否かを確認すると、実施例1と同様に、強磁性層のキャリア濃度が有効に変化できていることが確認された。

そして、ゲートバイアスとして、5 Vの電界を印加した状態で電界効果トランジスタを温度変化させたときの、ソースドレイン抵抗を測定

した。その結果、ゲートバイアスとして5 Vの電界を印加した状態で282 Kにおいて、3.0 Kの磁性転移温度変化を確認した。

〔実施例3〕

実施例2と同じ組成の材料を用いて、レーザアブレーション法にて、  
5 ボトムゲート型の電界効果トランジスタを作製した。このとき、チャネル層である $(\text{La}_{0.85}\text{Ba}_{0.15})\text{MnO}_3$ の層厚（膜厚）は、15 nmであった。なお、 $\text{SrTiO}_3$ の(001)面の単結晶基板上と、誘電体層（ゲート層）である $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ との間には、 $(\text{La}, \text{Ba})\text{MnO}_3$ からなる酸化物ゲート電極を形成している。

10 そして、ゲートバイアスとして、5 Vの電界を印加した状態で電界効果トランジスタを温度変化させたときの、ソースドレイン抵抗を測定した。その結果、ゲートバイアスとして5 Vの電界を印加した状態で282 Kにおいて、3.0 Kの磁性転移温度変化を確認した。

次に得られた電界効果トランジスタを用いて、ゲートバイアスとして  
15 、5 Vの電界を印加した状態で電界効果トランジスタを温度変化させたときの、ソースドレイン抵抗を測定した。その結果を図5に示す。図5から分かるように、強磁性転移温度（金属－絶縁体転移温度）が313 Kに達することがわかる。

また、図5から分かるように、ゲートバイアスとして5 Vの電界を印  
20 加した状態で313 Kにおいて、160 Kの磁性転移温度変化を確認した。これは、強磁性－常磁性スイッチが行われていることを意味する。従って、本発明の電界効果トランジスタは、従来よりも、より低電圧、かつ、高温（0℃以上）で動作させることができる。

尚、発明を実施するための最良の形態の項においてなした具体的な実

施態様または実施例は、あくまでも、本発明の技術内容を明らかにするものであって、そのような具体例にのみ限定して狭義に解釈されるべきものではなく、本発明の精神と次に記載する特許請求の範囲内で、いろいろと変更して実施することができるものである。

5

#### 産業上の利用の可能性

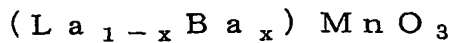
本発明にかかる電界効果トランジスタは、例えば、電界で書込みが可能である磁気記録素子、新機能半導体—磁気集積回路、電界制御磁気アクチュエータ等に利用可能である。

## 請 求 の 範 囲

1. 50nm以下の膜厚を有し、0℃以上で強磁性を示すBa系Mn酸化物からなる強磁性層と、

5 誘電体または強誘電体からなる誘電体層とが接合されてなることを特徴とする電界効果トランジスタ。

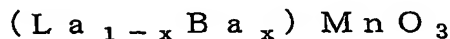
2. 上記強磁性層が



(ただし、xは、 $0.05 < x < 0.3$ の関係を満たす)

10 で示すBa系Mn酸化物からなることを特徴とする請求項1記載の電界効果トランジスタ。

3. 上記強磁性層が



(ただし、xは、 $0.10 < x < 0.3$ の関係を満たす)

15 で示すBa系Mn酸化物からなることを特徴とする請求項1記載の電界効果トランジスタ。

4. 上記誘電体または強誘電体は、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、

( $\text{Ba}_{1-y}\text{Sr}_y$ ) $\text{TiO}_3$  (ただし、yは、 $0 < y < 1$ の関係を満たす)、 $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-z}\text{Ti}_z)\text{TiO}_3$  (ただし、zは、 $0 < z < 1$ の関係を満たす)、または、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ であることを特徴とする請求項1、2または3記載の電界効果トランジスタ。

20

5. 上記誘電体または強誘電体は、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、( $\text{Ba}_{1-y}\text{Sr}_y$ ) $\text{TiO}_3$  (ただし、yは、 $0 < y < 1$ の関係を満たす)、 $\text{PbTiO}_3$ 、または、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ であることを特徴とする請求項

1、2または3記載の電界効果トランジスタ。

6. ボトムゲート構造を有することを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の電界効果トランジスタ。

図 1

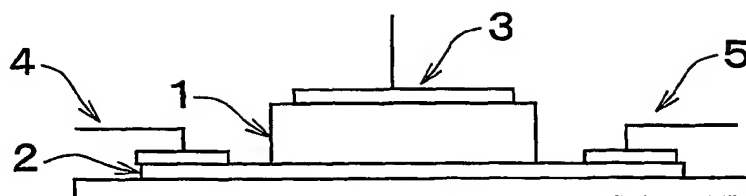
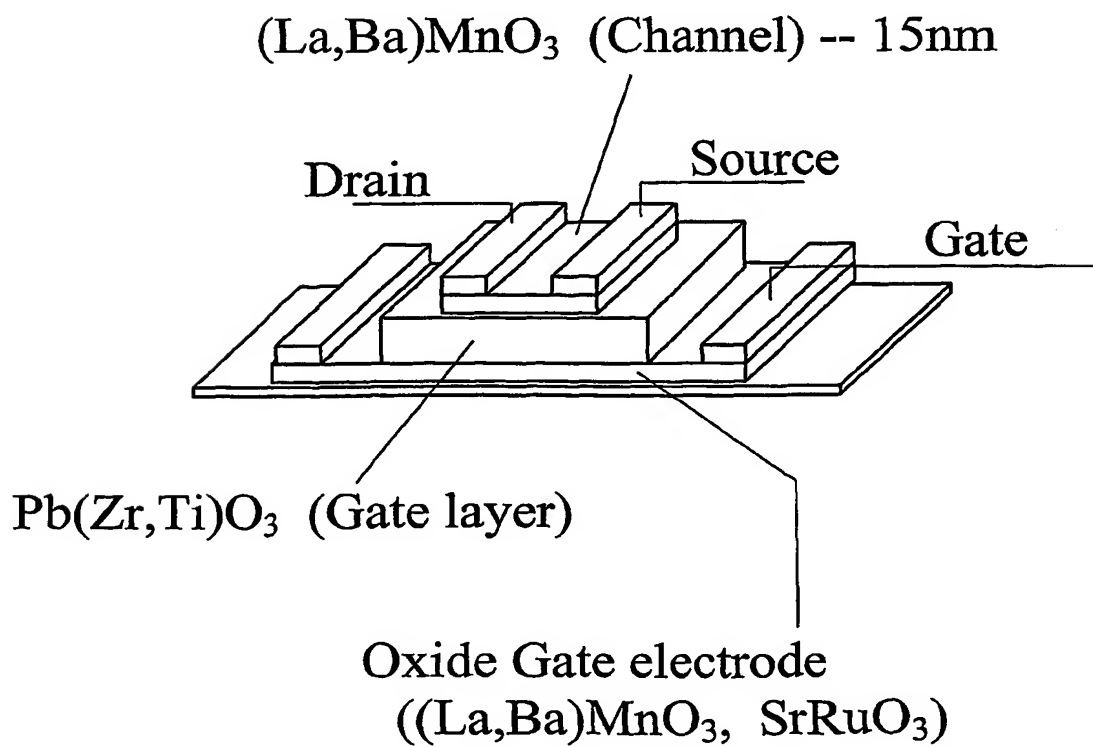
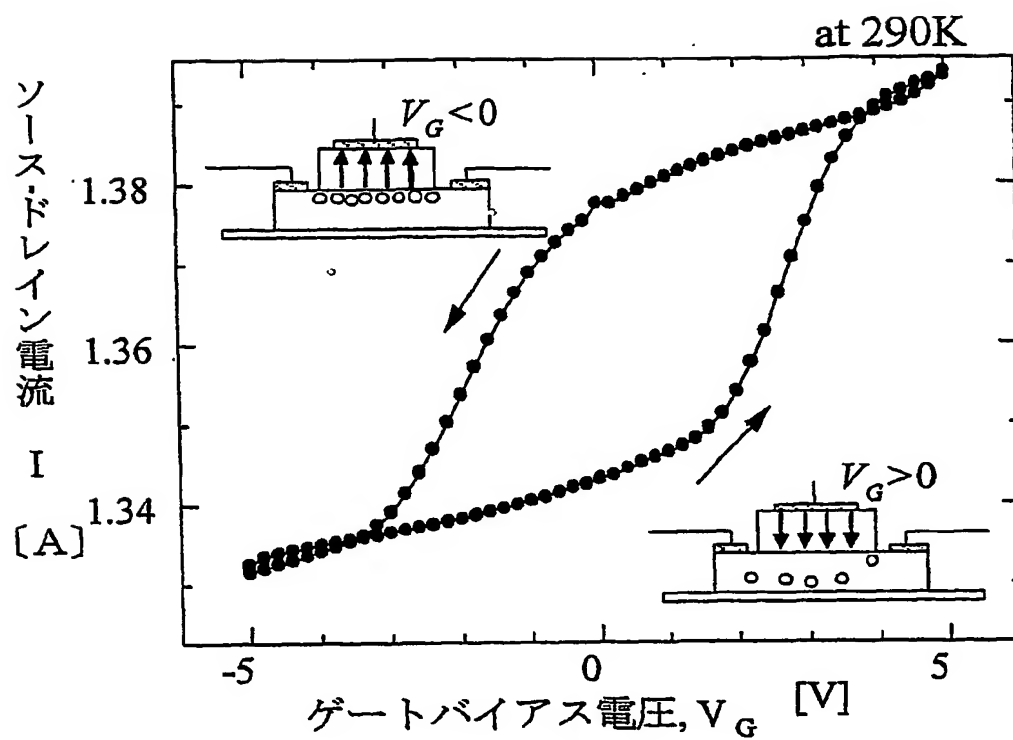


図 2



2/4

図 3



3/4

図 4

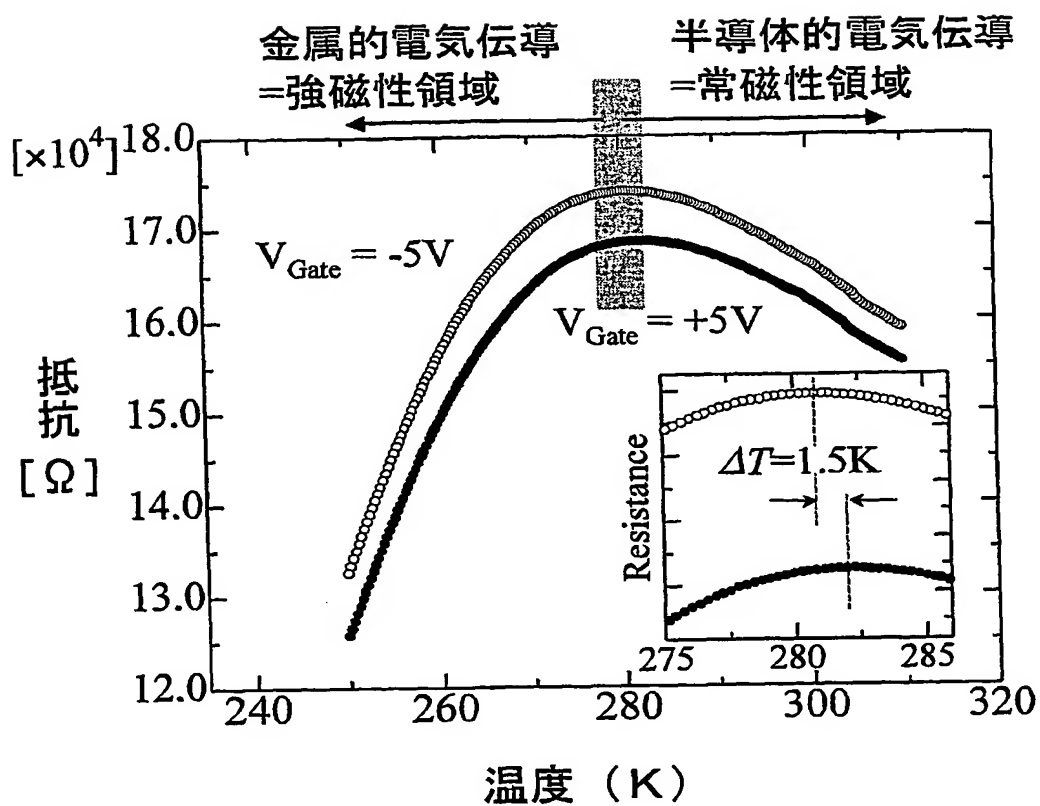
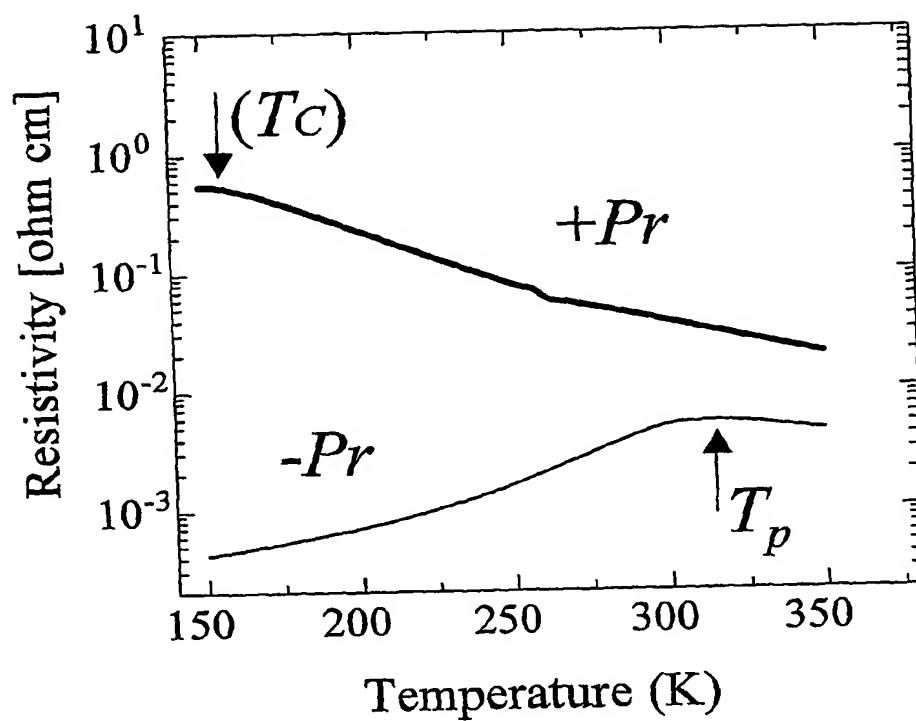




図 5



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11300

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01L29/82, H01L29/78

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L29/82, H01L29/78, H01L29/788, H01L29/792, H01L21/8247, H01L27/105

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

ISI Web of Science

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Teruo KANKI et al., "Kyosokan Denshikei Mn	1-4
Y	Sankabutsu no FET Sakusei to Hyoka", The Physical	5
A	Society of Japan Koen Gaiyoshu, 13 August, 2002	6
	(13.08.02), Vol.57, No.2, separate Vol.3, page 499	
Y	JP 5-136426 A (Rohm Co., Ltd.), 01 June, 1993 (01.06.93), Full text (Family: none)	4, 5
Y	JP 2000-349285 A (Hitachi, Ltd.), 15 December, 2000 (15.12.00), Full text & KR 2001020941 A & TW 506131 A & US 6593229 B1	4, 5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 07 January, 2004 (07.01.04)	Date of mailing of the international search report 20 January, 2004 (20.01.04)
--	---

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/11300

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-352113 A (Japan Science and Technology Corp.), 21 December, 2001 (21.12.01), Full text (Family: none)	1-6
P,A	JP 2003-78147 A (Canon Inc.), 14 March, 2003 (14.03.03), Full text (Family: none)	1-6
P,A	KANKI Teruo et al., Nanoscale observation of room-temperature ferromagnetism on ultrathin (La,Va)MnO <sub>3</sub> films, Applied Physics Letters, 11 August, 2003 (11.08.03), Vol.83, No.6, pages 1184 to 1186	1-6

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO3/11300

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> H01L29/82, H01L29/78

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L29/82, H01L29/78, H01L29/788, H01L29/792, H01L21/8247, H01L27/105

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
日本国実用新案登録公報 1996-2004年  
日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
ISI Web of Science

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	神吉輝夫他, 強相関電子系Mn酸化物のFET作製と評価, 日本物理学会講演概要集, 2002. 08. 13, 第57巻, 第2号, 第3分冊, p. 499	1-4 5 6
Y	JP 5-136426 A(ローム株式会社)1993. 06. 01, 全文(ファミリーなし)	4, 5
Y	JP 2000-349285 A(株式会社日立製作所)2000. 12. 15, 全文 &KR 2001020941 A&TW 506131 A&US 6593229 B1	4, 5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 01. 2004

国際調査報告の発送日

20. 1. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

栗野 正明

4M

9353

電話番号 03-3581-1101 内線 3462

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-352113 A(科学技術振興事業団)2001. 12. 21, 全文 (ファミリーなし)	1-6
PA	JP 2003-78147 A(キャノン株式会社)2003. 03. 14, 全文 (ファミリーなし)	1-6
PA	KANKI Teruo et al., Nanoscale observation of room-temperature ferromagnetism on ultrathin (La,Ba)MnO <sub>3</sub> films, Applied Physi- cs Letters, 11 August 2003, Vol. 83, No. 6, pp. 1184-1186	1-6